



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

“REPOTENCIACIÓN DE SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO AUTOMOTRIZ MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE INTERCAMBIADOR DE CALOR IHX DIGITALIZANDO LOS PARÁMETROS DEL BANCO DE PRUEBAS DEL LABORATORIO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”

**FERNANDO FABIÁN ORTIZ ANGULO
LUIS MIGUEL TELLO MUÑOZ**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTOS TÉCNICOS

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2017

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2016-10-20

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

ORTIZ ANGULO FERNANDO FABIÁN

Titulado:

**“REPOTENCIACIÓN DE SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO
AUTOMOTRIZ MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE
INTERCAMBIADOR DE CALOR IHX DIGITALIZANDO LOS PARÁMETROS
DEL BANCO DE PRUEBAS DEL LABORATORIO DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

**Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FACULTAD DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

**Ing. Alejandro Paúl Montúfar Paz
DIRECTOR**

**Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo
ASESOR**

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2016-10-20

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

TELLO MUÑOZ LUIS MIGUEL

Titulado:

**“REPOTENCIACIÓN DE SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO
AUTOMOTRIZ MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE
INTERCAMBIADOR DE CALOR IHX DIGITALIZANDO LOS PARÁMETROS
DEL BANCO DE PRUEBAS DEL LABORATORIO DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos José Santillán Mariño

DECANO FACULTAD DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Alejandro Paúl Montúfar Paz

DIRECTOR

Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo

ASESOR

EXAMINACIÓN DE TRABAJO DE TITULACION

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ORTIZ ANGULO FERNANDO FABIÁN

TRABAJO DE TITULACIÓN: **“REPOTENCIACIÓN DE SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO AUTOMOTRIZ MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE INTERCAMBIADOR DE CALOR IHX DIGITALIZANDO LOS PARÁMETROS DEL BANCO DE PRUEBAS DEL LABORATORIO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ.”**

Fecha de Examinación: 2017-07-20

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Alejandro Paúl Montúfar Paz DIRECTOR			
Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. José Francisco Pérez Fiallos

PRESIDENTE TRIB.

EXAMINACIÓN DE TRABAJO DE TITULACION

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: TELLO MUÑOZ LUIS MIGUEL

TRABAJO DE TITULACIÓN: **“REPOTENCIACIÓN DE SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO AUTOMOTRIZ MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE INTERCAMBIADOR DE CALOR IHX DIGITALIZANDO LOS PARÁMETROS DEL BANCO DE PRUEBAS DEL LABORATORIO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ.”**

Fecha de Examinación: 2017-07-20

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Alejandro Paúl Montúfar Paz DIRECTOR			
Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. José Francisco Pérez Fiallos

PRESIDENTE TRIB.

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores.

El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Fernando Fabián Ortiz Angulo

Luis Miguel Tello Muñoz

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación ha sido el resultado de mucho esfuerzo, dedicación y sobretodo constancia, por eso quiero dedicarlo a mis padres José Ortiz y Rosa Angulo, a mis hermanos Mónica y Piero, y en especial a mi esposa Lizeth Sasaguay y a mi hijo Keyner Fernando; gracias al apoyo incondicional que me han brindado durante estos años de estudio esta meta alcanzada llena de sacrificio y confianza puesta en mi es para ustedes.

Fernando Fabián Ortiz Angulo

La presente Tesis está dedicada a Dios, ya que gracias a él he logrado concluir mi carrera, a mis padres, porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona, a mis hermanos, sobrino y cuñadas por sus palabras y compañía, a mis amigos, compañeros y todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido para lograr mis objetivos.

Luis Miguel Tello Muñoz

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios por permitirme alcanzar un logro más en mi vida, a toda mi familia especialmente a mis padres y hermanos, a mi esposa e hijo que siempre estuvieron y están presentes con su apoyo, consejos y confianza.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, especialmente a la Escuela de Ingeniería Automotriz quienes me abrieron las puertas y supieron formarme no solo profesional si no también una persona de bien inculcando en mí valores y conocimientos para servir a la sociedad.

Agradezco a los docentes que formaron parte durante esta etapa de estudio, compañeros y personas que me apoyaron de una u otra manera en la consecución de este título profesional.

Fernando Fabián Ortiz Angulo

Agradecerle principalmente a Dios, por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, por hacer realidad este sueño tan anhelado, a mis Padres, hermanos y familiares quienes me han motivado durante mi formación profesional. También me gustaría agradecer a mis profesores durante toda mi carrera profesional porque todos han aportado con un granito de arena a mi formación.

Luis Miguel Tello Muñoz

CONTENIDO

pág.

1. INTRODUCCIÓN

1.1.	Antecedentes.	1
1.2.	Justificación.....	1
1.3.	Objetivos.	2
1.3.1.	<i>Objetivo general</i>	2
1.3.2.	<i>Objetivos específicos</i>	2

2. MARCO TEORICO

2.1.	Termodinámica aplicada.	3
2.2.	Sistema de aire acondicionado.....	3
2.2.1.	<i>Funcionamiento del aire acondicionado automotriz</i>	3
2.3.	Ciclos de refrigeración.	4
2.3.1.	<i>Ciclo invertido de Carnot</i>	4
2.3.2.	<i>Ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor</i>	5
2.3.3.	<i>Ciclo real de refrigeración por compresión de vapor</i>	8
2.4.	COP (coeficiente de rendimiento).	10
2.5.	Refrigerante R134a.....	10
2.6.	Componentes del sistema de aire acondicionado.....	10
2.6.1.	<i>Compresor</i>	10
2.6.2.	<i>Condensador</i>	11
2.6.3.	<i>Evaporador</i>	11
2.6.4.	<i>Dispositivos reguladores de presión</i>	12
2.6.5.	<i>Depósito – secador</i>	13
2.6.6.	<i>Acumulador</i>	13
2.7.	Intercambiadores de calor.....	14
2.7.1.	<i>Tipos de intercambiadores de calor según su operación</i>	14
2.7.1.1.	<i>Flujo paralelo</i>	15
2.7.1.2.	<i>Contraflujo</i>	15
2.7.1.3.	<i>Flujo cruzado</i>	16
2.7.1.4.	<i>Intercambiadores de un solo paso (o paso simple) y de múltiple pasos</i>	16
2.7.1.5.	<i>Intercambiadores regenerativos y no-regenerativos</i>	17
2.7.2.	<i>Funcionamiento de los intercambiadores de calor</i>	17

3. ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DEL BANCO DE PRUEBAS DE AIRE ACONDICIONADO.

3.1.	Análisis Del Estado Del Banco De Pruebas De Aire Acondicionado.	19
3.1.1.	<i>Estado de conexiones eléctricas.</i>	20
3.1.2.	<i>Estado del sistema de Aire Acondicionado.</i>	20
3.2.	Selección de elementos para la repotenciación del banco de pruebas.	21
3.2.1.	<i>Transmisor de Presión.</i>	21
3.2.2.	<i>Sensor de Presión.</i>	21
3.2.3.	<i>Tarjeta de adquisición de datos.</i>	22
3.2.4.	<i>Sensor de temperatura.</i>	22
3.3.	Ubicación de elementos para la repotenciación del banco de pruebas.	23
3.4.	Puesta en marcha del equipo.	26
3.5.	Visualización de datos mediante un pc.	27
3.6.	Funcionamiento del sistema.	27

4. RESULTADOS.

4.1.	Obtención de datos analógicos.	30
4.1.1.	<i>Cálculos de datos analógicos sin intercambiador de calor (IHX).</i>	30
4.1.2.	<i>Cálculos de datos analógicos con intercambiador de calor (IHX).</i>	32
4.1.3.	<i>Comparación de COP de datos analógicos.</i>	34
4.2.	Obtención y resultado de datos digitales.	34
4.2.1.	<i>Obtención y resultado de datos digitales sin intercambiador de calor (IHX).</i>	35
4.2.2.	<i>Obtención y resultado de datos digitales con intercambiador de calor (IHX).</i>	36
4.2.3.	<i>Comparación de COP de datos digitales.</i>	37
4.3.	Comparación y análisis de COP.	38

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	Conclusiones.	39
5.2.	Recomendaciones.	39

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Obtención de datos analógicos sin intercambiador de calor.....	30
Tabla 2 Obtención de datos analógicos con intercambiador de calor.....	32
Tabla 3 Comparación de COP de datos analógicos.....	34
Tabla 4 Obtención de datos digitales.....	35
Tabla 5 Obtención de datos digitales.....	36
Tabla 6 Comparación de COP de datos digitales.....	37
Tabla 7 Comparación y análisis de COP.....	38

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Esquema de un refrigerador de Carnot y diagrama t-s del ciclo invertido de Carnot.....	4
Figura 2 Esquema y diagrama t-s para ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.....	6
Figura 3 Esquema y diagrama T-s para el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.....	8
Figura 4 Compresor.....	10
Figura 5 Condensador.....	11
Figura 6 Evaporador.....	11
Figura 7 Dispositivos reguladores de presión.....	12
Figura 8 Depósito – secador.....	13
Figura 9 Acumulador.....	14
Figura 10 Intercambiador de calor de flujo paralelo.....	15
Figura 11 Intercambiador de Contraflujo.....	16
Figura 12 Intercambiador de calor de flujo cruzado.....	16
Figura 13 Intercambiador de un solo paso e intercambiador de múltiple paso.....	17
Figura 14 Banco de Pruebas de Aire Acondicionado.....	19
Figura 15 Conexiones eléctricas en mal estado.....	20
Figura 16 Acoples en mal estado.....	20
Figura 17 Transmisor de presión HR-PTM300.....	21
Figura 18 Sensor de Presión.....	22
Figura 19 Tarjeta de adquisición de datos Arduino 2560.....	22
Figura 20 Datos de sensor NTC 10K.....	23
Figura 21 Componentes del panel superior.....	25
Figura 22 Componentes del panel central.....	25
Figura 23 Componentes del panel inferior.....	26
Figura 24 Circuitos del equipo.....	28

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1 Comparación de COP de datos analógicos.....	34
Gráfica 2 Comparación de COP de datos digitales.....	37

ABREVIATURAS

A/C	Aire Acondicionado
IHX	Internal Heat Exchanger
COP	Coeficiente de Desempeño
EES	Engineering Equation Solver
USB	Bus Universal en Serie
TXV	Válvula de Expansión Térmica
CFC	Clorofluorocarbonos
HCFC	Hidroclorofluorocarbonos

RESUMEN

En la Carrera de Ingeniería Automotriz perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, surge la necesidad de realizar investigaciones sobre nuevas tendencias que tienen como objetivo mejorar el rendimiento de máquinas y sistemas, en este caso el de mejorar la eficiencia energética del ciclo de refrigeración. Por tal motivo se desarrolla la repotenciación del banco de pruebas existente en el laboratorio de aire acondicionado, logrando aportar datos de presión, temperatura en la entrada y salida de cada componente del sistema ofreciendo una base de datos confiable. El banco de pruebas requiere satisfacer criterios de aumento de COP mediante la implementación de un intercambiador de calor IHX Internal Heat Exchanger, y con esto disminuir el consumo requerido por el sistema de refrigeración del vehículo, el cual será instalado en el equipo mediante acoples rápidos los cuales permiten validar otros modelos de intercambiadores de calor. Otro de los requerimientos es la practicidad al momento de obtener los datos que arroja el sistema, ayudando así a una recolección fácil y segura mediante la utilización de sensores y una tarjeta de adquisición de datos. Para que pueda ser de apoyo dentro del proceso de aprendizaje, la didáctica que presenta el equipo brinda la comodidad y seguridad necesaria para hacer de este un instrumento de enseñanza y validación experimental. Mediante la realización de una manual de funcionamiento se brinda al estudiante la posibilidad de realizar prácticas de laboratorio en tiempo real y con una mayor exactitud. La implementación de los sensores y del intercambiador de calor IHX de contraflujo logro incrementar el COP del sistema entre 2% y 4% según los resultados obtenidos, los cuales pueden ser visualizados en una pantalla, y con esto disminuir el consumo requerido por el sistema de refrigeración, antes de realizar prácticas de laboratorio leer el manual de funcionamiento para una correcta utilización de encendido, apagado y funcionamiento del banco de pruebas.

Palabras Clave: <EFICIENCIA ENERGETICA>, <BANCO DE PRUEBAS>, <AIRE ACONDICIONADO>, <BASE DE DATOS>, <AUMENTO DE COP>, <INTERCAMBIADOR DE CALOR (IHX)>, <PRACTICIDAD>, <VALIDACION EXPERIMENTAL>.

ABSTRACT

In the Automotive Engineering career which belongs to the Polytechnic School of Chimborazo, the need arises to investigate new trends that aim to improve the performance of machines and systems, in this case to improve the energy efficiency of the refrigeration cycle. For this reasons the repower of the existing test bank in the air conditioning laboratory develops, being able to contribute data of pressure, temperature in the entrance and exit of each component of the system offering a reliable data base. The test bank requires to satisfy criteria for increased COP by implementing IHX a Heat Exchanger Internal heat exchanger, thereby decreasing the consumption required by the vehicle's refrigeration system, which will be installed in the equipment by quick couplings which allow validating other models of the heat exchangers. Another requirement is the practicality at the moment of obtaining the data that the systems gives, thus helping to an easy and safe collection by means of the use of sensors and a data acquisition card. In order to be supportive in the learning process, the didactics presented by the team provides the comfort and safety necessary to make this instrument of teaching and experimental validation. By means of the realization of this manual of operation the student is given the possibility of performing laboratory practices in real time and with greater accuracy. The implementation of the sensors and the exchanger of heat IHX of counterflow which achieves an increase of the system COP by between 2% and 4% according to the results obtained, which can be displayed on a screen, thereby decreasing the consumption required by the system of refrigeration, before carrying out laboratory practices read the operating manual for proper use of the ignition, shutdown and operation of the test bank.

Key words: <ENERGY EFFICIENCY >, <TEST BANK>, <AIR CONDITIONING>, <DATABASE>, <INCREASE COP>, <HEAT EXCHANGER (IHX)>, <PRACTICE>, <EXPERIMENTAL VALIDATION>.

CAPÍTULO I

1.- INTRODUCCIÓN

1.1.- Antecedentes.

La Carrera de Ingeniería Automotriz perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ha mostrado un alto crecimiento en los últimos años, goza de un gran prestigio dentro del país, debido a que se ha encargado de formar profesionales competitivos, de alta calidad y conscientes de las necesidades actuales del campo automotriz de nuestro país.

Cada día se realizan investigaciones sobre nuevas tendencias que tiene como objetivo mejorar el rendimiento de máquinas y sistemas, así como también desarrollar nuevos sistemas de recuperación de energía para incrementar la potencia y reducir el consumo de combustible.

Mediante esta tesis los futuros profesionales de la Escuela de Ingeniería Automotriz, podrán aplicar sus conocimientos en un banco de pruebas de aire acondicionado el cual les brindara seguridad, ergonomía, tecnología y la certeza de obtener datos reales en tiempo real.

1.2.- Justificación.

El banco de Pruebas que fue desarrollado por Pablo Checa y Marco Caiza como Tesis de Grado en el año 2012, con título “Construcción de un sistema didáctico de aire acondicionado vehicular, para el laboratorio de Ingeniería Automotriz”, fue creado con el afán de que los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Automotriz, tengan la posibilidad de asociar los conocimientos teóricos con prácticas de laboratorio.

El banco de pruebas que se repotenciará tendrá las prestaciones necesarias didácticas y tecnológicas para que los estudiantes conozcan el funcionamiento del sistema y cada uno de sus componentes, además con la implementación de un intercambiador de calor IHX, se pretende mejorar la eficiencia del sistema de refrigeración, reduciendo así el consumo de refrigerante y la potencia de consumo del compresor.

Además a través de una pantalla se ayudará a comprender los puntos críticos e índice de desempeño (COP) de la práctica realizada en el laboratorio en tiempo real y con la mayor exactitud posible, proporcionando así información que permita validar experimentalmente los diferentes modelos de intercambiadores de calor en un sistema de refrigeración automotriz.

1.3.- Objetivos.

1.3.1.- Objetivo general.

Repotenciar el sistema de aire acondicionado automotriz mediante la implementación del intercambiador de calor IHX y digitalizar los parámetros del banco de pruebas del laboratorio de la carrera de ingeniería automotriz.

1.3.2.- Objetivos específicos.

- Diagnosticar el estado actual de funcionamiento del banco de pruebas, mediante un chequeo visual de cada uno de los componentes del sistema.
- Implementar un intercambiador de calor IHX en el sistema de aire acondicionado, incrementando así el coeficiente de desempeño, utilizando acoples rápidos para su fácil instalación.
- Recopilar los parámetros del sistema para digitalizar los valores y generar esquemas del ciclo, por medio de sensores y una tarjeta de adquisición de datos en una pantalla.
- Realizar un manual de funcionamiento del banco de pruebas de aire acondicionado, para su correcta utilización y mantenimiento preventivo.

CAPÍTULO II

2.- MARCO TEORICO

2.1.- Termodinámica aplicada.

La termodinámica se define como la rama de la ciencia que estudia el conjunto de leyes que rigen la transformación del trabajo en calor o viceversa, comprende el estudio de las transformaciones reciprocas de la energía, sea cualquiera su forma. (Martínez, 2004)

2.2.- Sistema de aire acondicionado.

El sistema de aire acondicionado es un sistema formado de partes mecánicas y refrigerantes los cuales trabajan juntos para controlar la temperatura del habitáculo del vehículo y obtener un óptimo desempeño.(Chavez, y otros, 2016)

El acondicionamiento de aire es de gran importancia para el bienestar del conductor y de sus acompañantes, este ejerce gran influencia sobre la capacidad de concentración. Además de mejorar la resistencia física y mental de las personas en periodos de conducción prolongados reduce de manera significativa la fatiga y somnolencia propia de la conducción en un vehículo.(Chavez, y otros, 2016)

2.2.1.- Funcionamiento del aire acondicionado automotriz.

El sistema de aire acondicionado está dividido en secciones de alta y baja presión. El compresor, es el corazón del sistema y es en dónde se origina la alta presión, el compresor se encarga de comprimir y enviar el gas a través del sistema.(Salgado, 2010)

Una vez comprimido el gas este pasa hacia el condensador el cual tiene funciones similares a la de un radiador. El condensador enfría el gas de alta presión y a la salida de éste se obtiene líquido refrigerante a baja presión. Este líquido refrigerante pasa al filtro, también conocido como receptor-desecante. La función del filtro es de limpiar contaminantes y humedad del refrigerante. (Salgado, 2010)

La válvula de expansión controla el paso del refrigerante hacia el evaporador, es básicamente un pequeño orificio regulado por temperatura y presión de manera que desde la válvula de expansión baja la presión del refrigerante. Este descenso de presión permite que el líquido refrigerante, el cual tiene un punto de ebullición por debajo de cero °C, se vaporice dentro del evaporador absorba una gran cantidad de calor durante el proceso resultando el enfriamiento del evaporador.

Por medio de un ventilador especial el aire pasa a través del evaporador obteniendo aire frío y este se envía hacia el interior del vehículo. El refrigerante en estado gaseoso y frío regresa al compresor para ser nuevamente comprimido y repetir el ciclo.(Salgado, 2010)

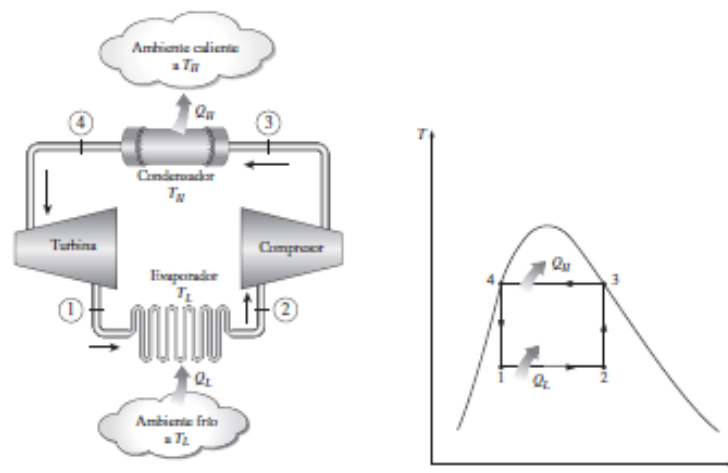
2.3.- Ciclos de refrigeración.

2.3.1.- Ciclo invertido de Carnot.

El ciclo de Carnot es un ciclo totalmente reversible que se compone de dos procesos isotérmicos reversibles y de dos procesos isentropicos. Tiene la máxima eficacia térmica para determinados procesos límites de temperatura y sirve como un estándar contra el cual los ciclos de potencia reales se comparan.(Çengel, 2014)

Considere un ciclo invertido de Carnot ejecutado dentro de la campana de saturación de un refrigerante. El refrigerante absorbe calor isotérmicamente de una fuente de baja temperatura a T_L (temperatura del calor extraído) en la cantidad de calor extraído del espacio refrigerado Q_L (proceso 1-2), se comprime isentrópicamente hasta el estado 3 (la temperatura se eleva hasta T_H), rechaza Calor isotérmicamente en un sumidero de alta temperatura a T_H (temperatura del calor rechazado) en la cantidad de calor rechazado a espacio caliente Q_H (proceso 3-4) y se expande isotrópicamente hasta el estado 1 (la temperatura desciende hasta T_L). El refrigerante cambia de un estado de vapor saturando a un estado de líquido saturado en el condensador durante el proceso 3-4.(Çengel, 2014)

Figura 1.Esquema de un refrigerador de Carnot y diagrama t-s del ciclo invertido de Carnot



Fuente: (Çengel, 2014)

Los coeficientes de desempeño de los refrigeradores y de las bombas de calor de Carnot se expresan en términos de la temperatura como:

$$COP_{R.CARNOT} = \frac{1}{T_H/T_L - 1}$$

$$COP_{BC.CARNOT} = \frac{1}{1 - T_H/T_L}$$

$COP_{R.CARNOT}$: Coeficiente de desempeño de refrigerador de Carnot.

$COP_{BC.CARNOT}$: Coeficiente de desempeño de bomba de calor de Carnot.

Obsérvese que ambos COP aumentan cuando la diferencia entre ambas temperaturas decrece, esto es, cuando T_L se eleva a T_H baja

El ciclo invertido de Carnot es el ciclo de refrigeración más eficiente que opera entre dos niveles específicos de temperatura. Por lo tanto, es natural considerarlo en primer lugar como un ciclo ideal esperando para los refrigeradores y las bombas de calor. (Çengel, 2014)

Los dos procesos isotérmicos de transferencia de calor no son difíciles de alcanzar en la práctica dado que al mantener una presión constante anatómicamente se fija la temperatura de una mezcla de dos fases en el valor de saturación. Por consiguiente, los procesos 1-2 y 3-4 pueden ser aproximados en los evaporadores y condensadores reales, Sin embargo. Los procesos 2-3 y 4-1 no pueden aproximarse lo suficiente en la práctica. Esto se debe a que el proceso 2-3 incluye la compresión de un valor húmedo que requiere un compresor que maneje dos fases, y el proceso 4-1 implica la expansión de un refrigerante con alto contenido de humedad en una turbina. (Çengel, 2014)

En apariencia estos problemas se eliminaran si se ejecuta el ciclo invertido de Carnot fuera de la región de saturación .pero en este caso tenemos dificultades para mantener las condiciones isotérmicas durante los procesos de absorción y rechazo de calor. Por ello, concluimos que el ciclo invertido de Carnot no puede aproximarse en los dispositivos reales y no es un modelo realista para los ciclos de refrigeración. A pesar de ello, el ciclo de Carnot sirve como un estándar contra el cual se comparan los ciclos reales de refrigeración. (Çengel, 2014)

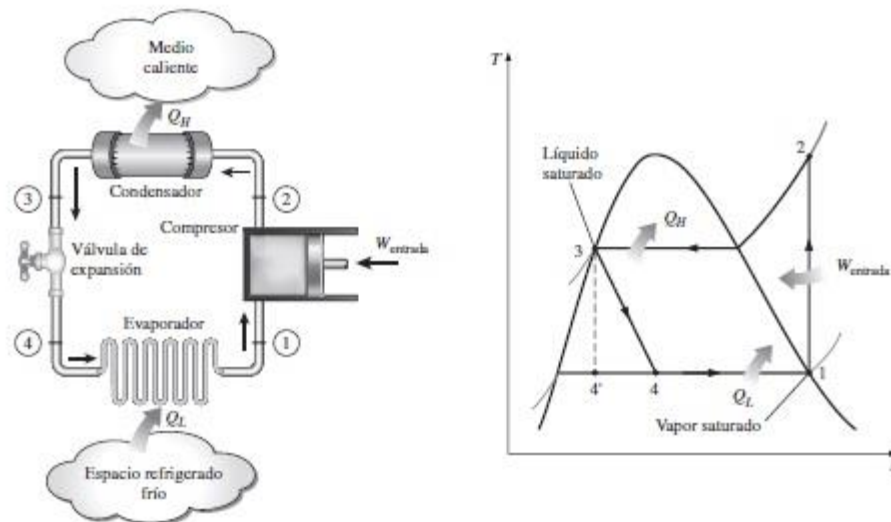
2.3.2.- Ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.

Muchos de los aspectos imprácticos asociados con el ciclo invertido de Carnot pueden ser eliminados al evaporar el refrigerante por completo antes de que se comprima, y al sustituir la turbina con un dispositivo de estrangulamiento, tal como una válvula de expansión o un tubo capilar. (Çengel, 2014)

El ciclo que resulta se denomina ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor, y se muestra de manera esquemática y en el diagrama de T-S en la figura anteriormente vista. En el ciclo de refrigeración por compresión de vapor es el que más se utiliza en refrigeradores, sistema de acondicionamiento de aire, y bombas de calor. (Çengel, 2014)

En un ciclo ideal por refrigeración por compresión de vapor, el refrigerante entra, al compresor en estado 1 como vapor saturado y se comprime isentrópicamente hasta la presión del condensador. (Çengel, 2014)

Figura 2. Esquema y diagrama t-s para ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.



Fuente: (Correa, 2015)

La temperatura del refrigerante aumenta durante el proceso de, compresión isentrópica, hasta un vapor bastante superior al de la temperatura del medio circulante. Después el refrigerante entra en el condensador como vapor sobrecalentado en el estado 2 y sale como líquido saturado en el estado 3, como resultado del rechazo de calor hacia los alrededores. La temperatura del refrigerante en este estado se mantendrá por encima de la temperatura de los alrededores. (Çengel, 2014)

El refrigerante líquido saturado en el estado 3 se estrangula hasta la presión del evaporador al pasarlo por una válvula de expansión o por un tubo capilar.

La temperatura del refrigerante desciende por debajo de la temperatura del espacio refrigerado durante este proceso. El refrigerante entra al evaporador en el estado 4 como un vapor húmedo de baja calidad, y se evapora por completo absorbiendo calor al espacio refrigerado. (Çengel, 2014)

El refrigerante sale del evaporador como vapor saturado y vuelve a entrar al compresor, completando el ciclo. Los cuatro componentes asociados con el ciclo de refrigeración por compresión de vapor son dispositivos de flujo estacionario, por lo que los cuatro procesos que integran el ciclo pueden analizarse como procesos de flujo estacionario. Los cambios en la energía cinética y potencial de refrigerantes suelen ser pequeños en la relación con los términos de trabajo y transferencia de calor, y por lo tanto, pueden ignorarse. Entonces la ecuación de energía de flujo estacionario por unidad de masa se reduce a:

$$(q_{\text{entrada}} - q_{\text{salida}}) + (w_{\text{entrada}} - w_{\text{salida}}) = h_e - h_i$$

q_{entrada} : Calor de entrada

q_{salida} : Calor de salida

w_{entrada} : Trabajo de entrada

w_{salida} : Trabajo de salida

h_e : Entalpía saliente

h_i : Entalpía entrante

El condensador y el evaporador no implican ningún trabajo y el compresor puede calcularse como adiabático. Entonces COP de refrigeradores y bombas de calor que operan en el ciclo de refrigeración por compresión de vapor pueden expresarse como:

$$\left(\text{COP}_R = \frac{q_t}{w_{\text{neto.entrada}}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \right)$$

y

$$\left(\text{COP}_{BC} = \frac{q_H}{w_{\text{neto.entrada}}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \right)$$

Donde $h_1 = h_{g(d)p}$ y $h_3 = h_{f(g)p3}$ para el caso ideal. (Çengel, 2014)

h_g : Entalpía de vapor saturado

h_f : Entalpía de líquido saturado

La refrigeración por compresión de vapor se remonta a 1834, cuando el inglés Jacob Perkins recibió una patente para una máquina de hielo de ciclo cerrado que usaba éter u otros fluidos volátiles como refrigerantes. Se fabricó un modelo utilizable de esta máquina, pero nunca se produjo comercialmente. (Çengel, 2014)

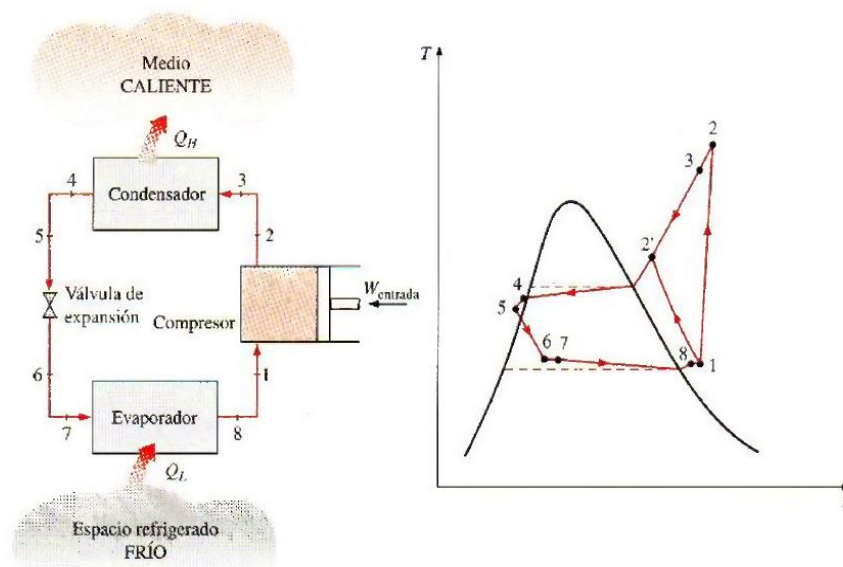
En 1850, Alexander Twining empezó a diseñar y construir máquinas de hielo por compresión de vapor usando éter etílico, el cual es un refrigerante comercialmente utilizado en los sistemas de compresión de vapor eran grandes y utilizados principalmente para producir hielo, preparar cerveza y conservar alimentos en frío. Carecían de control automático eran accionados por una máquina de vapor. En la década de 1890, algunas máquinas más pequeñas activadas por motores eléctricos y equipados con control automático empezaron a sustituir a las unidades más viejas, y los sistemas de refrigeración empezaron aparecer en las carnicerías en las residencias.(Çengel, 2014)

Por 1930, las mejoras continuas hicieron posible contar con un sistema de refrigeración por compresión que resultaba relativamente eficientes, confiables, pequeños y económicos. (Çengel, 2014)

2.3.3.- Ciclo real de refrigeración por compresión de vapor.

Un ciclo real de refrigeración por compresión de vapor difiere de uno real en varios aspectos, principalmente, debido a las irreversibles que ocurren en varios componentes. Dos fuentes comunes de irreversibilidad son fricción del fluido (causa caídas de presión) y la transferencia de calor hacia o desde los alrededores. El diagrama T-s de un ciclo real de refrigeración por compresión de vapor.(Çengel, 2014)

Figura 3.Esquema y diagrama T-s para el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.



Fuente: (Çengel, 2014)

En el ciclo real el refrigerante sale del evaporador y entra en el compresor como vapor saturado. Sin embargo, en la práctica, no es posible controlar el estado del refrigerante con tanta precisión.

En lugar de eso, es fácil diseñar el sistema de modo que el refrigerante se sobrecaliente ligeramente en la entrada del compresor. Este ligero sobrecalentamiento asegura que el refrigerante se evapore por completo cuando entra en el compresor. También, la línea que conecta al evaporador con el compresor suele ser muy larga; por lo tanto la caída de presión ocasionada por la fricción del fluido y la transferencia de calor de los alrededores al refrigerante pueden ser muy significativas. El resultado de sobrecalentamiento, de ganancia de calor en la línea de conexión y las caídas de presión en el evaporador y la línea de conexión, consisten en un incremento en el volumen específico y por consiguiente, en un incremento en los requerimientos de entrada de potencia al compresor puesto que el trabajo de fluido estacionario es proporcional al volumen específico.(Çengel, 2014)

El proceso de compresión en el ciclo ideal es internamente reversible y adiabático y, por ende, isentrópico. Sin embargo, el proceso de compresión real incluirá efectos de fricción, los cuales incrementan la entropía y la transferencia de calor, lo que puede aumentar o disminuir la entropía dependiendo de la dirección. Por consiguiente, la entropía del refrigerante puede incrementarse (proceso 1-2) o disminuir (proceso 1-2') durante un proceso de compresión real, dependiendo del predominio de los efectos. El proceso de compresión 1-2' puede ser incluso más deseable que el proceso de compresión isentrópico debido a que el volumen específico del refrigerante y, por consiguiente, el requerimiento de entrada de trabajo son más pequeños en este caso. De ese modo, el refrigerante debe enfriarse durante el proceso de compresión siempre que sea práctico y económico hacerlo.(Çengel, 2014)

En el caso ideal se supone que el refrigerante sale del condensador como líquido saturado a la presión de salida del compresor. En realidad, es inevitable tener cierta caída de presión en el condensador, así como en líneas que lo conectan con el compresor y la válvula de estrangulamiento. Además, no es fácil ejecutar el proceso de condensación con tal precisión como para que el refrigerante sea un líquido saturado al final, y es indeseable enviar el refrigerante a la válvula de estrangulamiento antes de que se condense por completo. En consecuencia, el refrigerante se sub enfría un poco antes de que entre a la válvula de estrangulamiento. A pesar de todo esto se debe tener en mente dado que el refrigerante entra en el evaporador con una entalpía inferior y por ello puede absorber más calor del espacio refrigerado.(Çengel, 2014)

La válvula de estrangulamiento y el evaporador se localizan muy cerca el uno del otro, de modo que la caída de presión en la línea de conexión es pequeña. (Çengel, 2014)

2.4.- COP (coeficiente de rendimiento).

El coeficiente de rendimiento, es una expresión de la eficiencia de una bomba de calor. Cuando se calcula el COP de una bomba de calor, se define como la relación entre la potencia que sale de la bomba de calor como refrigeración o calor, y la potencia que se suministra al compresor. (Refrigerantes, 2014)

$$COP = \frac{QL}{W \text{ neto}} = \frac{\text{salida deseada}}{\text{entrada requerida}} = \frac{\text{efecto de enfriamiento}}{\text{entrada de trabajo}} = \frac{H1 - H4}{H2 - H1}$$

2.5.- Refrigerante R134a.

El R-134a (HFC-134a) se ha desarrollado para convertirse en uno de los sustitutos claves de los refrigerantes CFC y HCFC. Este refrigerante es un sustituto a largo plazo, seguro para el medio ambiente e inofensivo para la capa de ozono. Tiene similares características de rendimiento energético y de capacidad que el R-12, y su toxicidad es intrínsecamente baja. El R-134a es el refrigerante alternativo preferido para el aire acondicionado de automóviles. Puede utilizarse en refrigeración doméstica y comercial así como en aire acondicionado comercial e industrial.

2.6.- Componentes del sistema de aire acondicionado.

2.6.1.- Compresor.

Comúnmente denominado el corazón del sistema, como su nombre lo indica, comprime el gas refrigerante tomando para ello potencia del motor mediante una transmisión de correa.

Figura 4. Compresor



Fuente: (Salgado, 2010)

Los sistemas de aire acondicionado están divididos en dos lados, el lado de alta presión y el lado de baja presión; también denominados descarga y succión respectivamente. La entrada del compresor toma el gas refrigerante de la salida del evaporador, y en algunos casos lo hace del acumulador, para comprimirlo y enviarlo al condensador, donde ocurre la transferencia del calor absorbido de dentro del vehículo. (Salgado, 2010)

2.6.2.- Condensador.

Aquí es donde ocurre la disipación del calor. El condensador tiene gran parecido con el radiador debido a que ambos cumplen la misma función. (Salgado, 2010)

Figura 5.Condensador



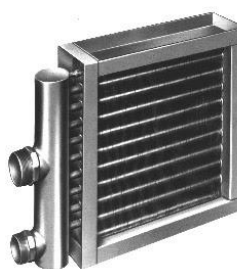
Fuente: (Salgado, 2010)

El condensador está diseñado para disipar calor, y normalmente está localizado frente al radiador, pero a veces, debido al diseño aerodinámico de la carrocería del vehículo, se coloca en otro lugar. El condensador debe tener un buen flujo de aire siempre que el sistema esté en funcionamiento. Dentro del condensador, el gas refrigerante proveniente del compresor, que se encuentra caliente, es enfriado; durante el enfriamiento, el gas se condensa para convertirse en líquido a alta presión.(Salgado, 2010)

2.6.3.- Evaporador.

El evaporador está localizado dentro del vehículo, y sirve para absorber tanto el calor como el exceso de humedad dentro del mismo. En el evaporador el aire caliente pasa a través de las aletas de aluminio unidas a los tubos; y el exceso de humedad se condensa en las mismas, y el sucio y polvo que lleva el aire se adhiere a su vez a la superficie mojada de las aletas, luego el agua es drenada hacia el exterior.(Salgado, 2010)

Figura 6.Evaporador



Fuente: (Salgado, 2010)

La temperatura ideal del evaporador es 0 °C (32 °F). El refrigerante entra por el fondo del evaporador como líquido a baja presión. El aire caliente que pasa a través de las aletas del evaporador hacen que el refrigerante dentro de los tubos se evapore (el refrigerante tiene un punto de ebullición muy bajo). En el proceso de evaporación el refrigerante absorbe grandes cantidades de calor, el cual es llevado por el refrigerante fuera del interior del vehículo. Existen otros componentes de los sistemas de aire acondicionado que trabajan en conjunto con el evaporador, puesto que deben existir controles para mantener la presión baja, y la temperatura, puesto que si ésta disminuye por debajo del valor mencionado anteriormente, el agua producto de la condensación del exceso de humedad no solo se condensará, sino que se congelará alrededor de los tubos del evaporador, y esto disminuye la eficiencia de la transferencia de calor en el mismo. (Salgado, 2010)

2.6.4.- Dispositivos reguladores de presión.

La temperatura del evaporador puede ser controlada mediante la regulación del flujo y la presión del refrigerante dentro del mismo. Existen muchos dispositivos creados para tal fin, a continuación se presentarán los que se encuentran más comúnmente:

Tubo orificio: Es probablemente el dispositivo más usado para regular la presión, y es el que más se utiliza en los vehículos de la Ford y la GM.

Figura 7.Dispositivos reguladores de presión



Fuente: (Salgado, 2010)

Se encuentra localizado en el interior del tubo de entrada del evaporador, en algún lugar entre el condensador y la entrada del evaporador. Para conocer la ubicación exacta de este dispositivo, basta solamente con tocar la línea de baja presión y ubicar el punto donde la temperatura pasa de caliente a frío.

Válvula de expansión térmica: Otro regulador de presión muy común es la válvula de expansión térmica, o TXV. Éste tipo de válvula mide tanto la temperatura como la presión, y es muy eficiente regulando el flujo de refrigerante que entra al evaporador. Existen diversos tipos de

TXV; pero, a pesar de ser muy eficientes, tienen ciertas desventajas con respecto al sistema de tubo orificio, pues al igual que el tubo orificio se pueden obstruir con las impurezas del refrigerante, pero además poseen pequeñas partes móviles que se pueden atascar y tener un mal funcionamiento debido a la corrosión.(Salgado, 2010)

2.6.5.- Depósito – secador.

El depósito – secador se utiliza en el lado de alta presión de los sistemas que utilizan una válvula de expansión térmica. Éste tipo de válvula requiere de líquido refrigerante, y para tener la seguridad de que sólo eso entrará a dicha válvula, se utiliza el depósito – secador, el cual separa el gas y el líquido, además de eliminar la humedad y filtrar las impurezas.(Salgado, 2010)

Figura 8.Depósito – secador



Fuente: (Salgado, 2010)

Normalmente el depósito – secador tiene un vidrio de nivel, en la parte superior, el cual se utiliza para recargar el sistema; en condiciones normales, las burbujas de vapor no deben ser visibles por el vidrio de nivel.(Salgado, 2010)

2.6.6.- Acumulador.

Los acumuladores normalmente son utilizados en sistemas que utilizan tubo orificio, y están conectados a la salida del evaporador, en donde almacena el exceso de líquido que no se evapora, debido a que si este líquido pasa al compresor éste se puede dañar; aunque ésta es su función principal, el acumulador también sirve para eliminar la humedad y las impurezas.(Salgado, 2010)

Figura. 9.Acumulador



Fuente: (Salgado, 2010)

2.7.- Intercambiadores de calor.

En los sistemas mecánicos, químicos, nucleares y otros, ocurre que el calor debe ser transferido de un lugar a otro, o bien, de un fluido a otro. Los intercambiadores de calor son los dispositivos que permiten realizar dicha tarea. Entre las principales razones por las que se utilizan los intercambiadores de calor se encuentran las siguientes:

- Calentar un fluido frío mediante un fluido con mayor temperatura.
- Reducir la temperatura de un fluido mediante un fluido con menor temperatura.
- Llevar al punto de ebullición a un fluido mediante un fluido con mayor temperatura.
- Condensar un fluido en estado gaseoso por medio de un fluido frío.
- Llevar al punto de ebullición a un fluido mientras se condensa un fluido gaseoso con mayor temperatura.
- Debe quedar claro que la función de los intercambiadores de calor es la transferencia de calor, donde los fluidos involucrados deben estar a temperaturas diferentes. Se debe tener en mente que el calor sólo se transfiere en una sola dirección, del fluido con mayor temperatura hacia el fluido de menor temperatura. En los intercambiadores de calor los fluidos utilizados no están en contacto entre ellos, el calor es transferido del fluido con mayor temperatura hacia el de menor temperatura al encontrarse ambos fluidos en contacto térmico con las paredes metálicas que los separan.(Salgado, 2010)

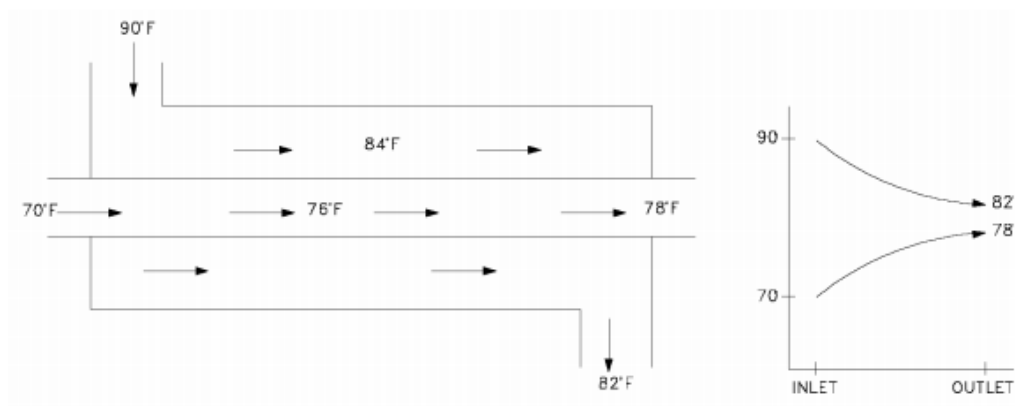
2.7.1.- Tipos de intercambiadores de calor según su operación.

Los intercambiadores de calor se presentan en muchos tamaños, materiales de manufactura, formas y modelos, estos se dividen en categorías de acuerdo a características comunes. Una de las características que pueden emplearse es la dirección relativa que existe entre los flujos. Las tres categorías son: Flujo paralelo, Contraflujo y Flujo cruzado.

2.7.1.1.- Flujo paralelo.

Existe un flujo paralelo cuando el flujo interno o de los tubos y el flujo externo o de la carcasa ambos fluyen en la misma dirección. En este caso, los dos fluidos entran al intercambiador por el mismo extremo y estos presentan una diferencia de temperatura significativa. Como el calor se transfiere del fluido con mayor temperatura hacia el fluido de menor temperatura, la temperatura de los fluidos se aproxima la una a la otra, es decir que uno disminuye su temperatura y el otro la aumenta tratando de alcanzar el equilibrio térmico entre ellos. Debe quedar claro que el fluido con menor temperatura nunca alcanza la temperatura del fluido más caliente. (Jaramillo, 2007)

Figura 10.Intercambiador de calor de flujo paralelo.

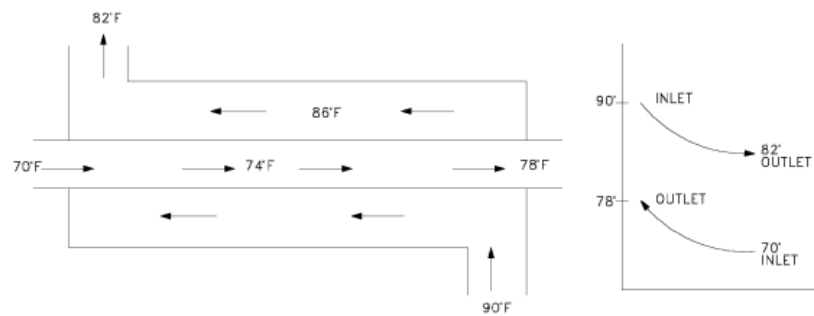


Fuente: (Jaramillo, 2007)

2.7.1.2.- Contraflujo.

Se presenta un contraflujo cuando los dos fluidos fluyen en la misma dirección pero en sentido opuesto. Cada uno de los fluidos entra al intercambiador por diferentes extremos ya que el fluido con menor temperatura sale en contraflujo del intercambiador de calor en el extremo donde entra el fluido con mayor temperatura, la temperatura del fluido más frío se aproximará a la temperatura del fluido de entrada. Este tipo de intercambiador resulta ser más eficiente que el otro tipo mencionado anteriormente. En contraste con el intercambiador de calor de flujo paralelo, el intercambiador de contraflujo puede presentar la temperatura más alta en el fluido frío y la más baja temperatura en el fluido caliente una vez realizada la transferencia de calor en el intercambiador.(Jaramillo, 2007)

Figura 11.Intercambiador de Contraflujo

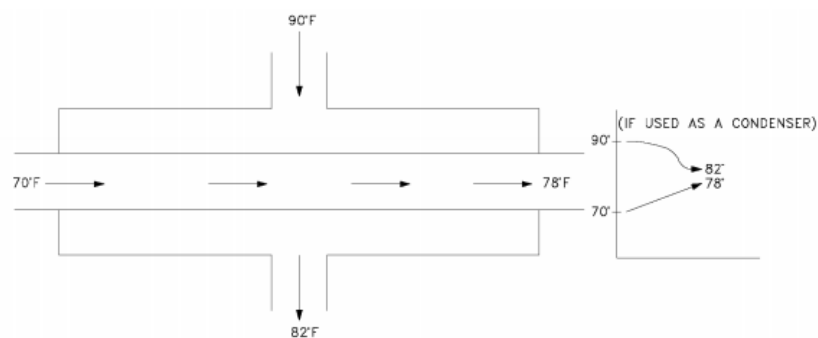


Fuente: (Jaramillo, 2007)

2.7.1.3.- Flujo cruzado.

En el intercambiador de calor de flujo cruzado, uno de los fluidos circula de manera perpendicular al otro fluido, esto es, uno de los fluidos pasa a través de tubos mientras que el otro pasa alrededor de dichos tubos formando un ángulo de 90°. Los intercambiadores de flujo cruzado son comúnmente utilizados donde uno de los fluidos presenta cambio de fase y por tanto se tiene un fluido pasado por el intercambiador en dos fases.(Jaramillo, 2007)

Figura 12. Intercambiador de calor de flujo cruzado

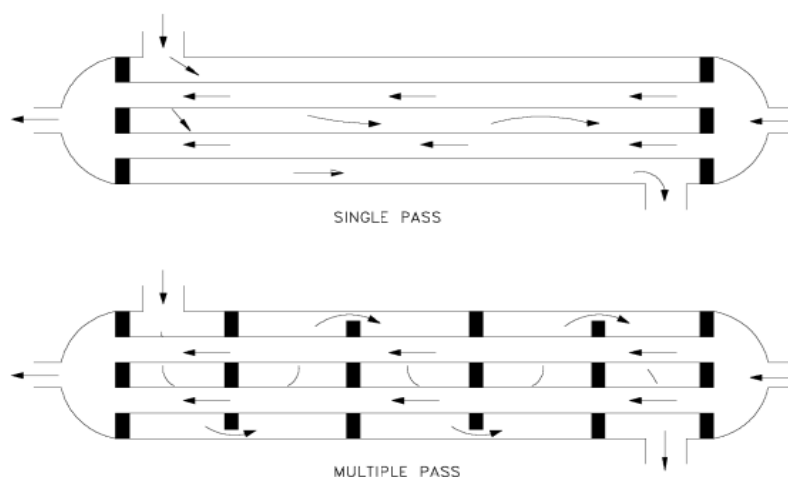


Fuente: (Jaramillo, 2007)

2.7.1.4.- Intercambiadores de un solo paso (o paso simple) y de múltiple pasos.

Un método que combina las características de dos o más intercambiadores y mejora el desempeño de un intercambiador de calor es tener que pasar los dos fluidos varias veces dentro de un intercambiador de paso simple. Cuando los fluidos intercambian calor más de una vez, se denomina intercambiador de múltiples pasos. Si el fluido sólo intercambia calor en una sola vez, se denomina intercambiador de calor de paso simple. Es común que el intercambiador de múltiples pasos cambie el sentido de flujo en los tubos al utilizar dobleces en forma de "U" en los extremos, es decir, permite al fluido circular de regreso e incrementar el área de transferencia del intercambiador. Otro de los métodos para llevar a cabo múltiples pasos es insertar platos dentro del intercambiador.(Jaramillo, 2007)

Figura 13.Intercambiador de un solo paso e intercambiador de múltiple paso.



Fuente: (Jaramillo, 2007)

2.7.1.5.- Intercambiadores regenerativos y no-regenerativos.

Los intercambiadores de calor también pueden ser clasificados por su función en un sistema particular. Una clasificación común es:

- Intercambiador regenerativo.
- Intercambiador no-regenerativo.

Un intercambiador regenerativo es aquel donde se utiliza el mismo fluido (el fluido caliente y el fluido frío es el mismo). Esto es, el fluido caliente abandona el sistema cediendo su calor a un regenerador y posteriormente regresando al sistema. Los intercambiadores regenerativos son comúnmente utilizados en sistemas con temperaturas altas donde una porción del fluido del sistema se remueve del proceso principal y éste es posteriormente integrado al sistema. Es importante recordar que el término "regenerativo/no-regenerativo" sólo se refiere a "cómo" funciona el intercambiador de calor en un sistema y no indica el tipo de intercambiador (carcaza y tubo, flujo paralelo, contraflujo). En un intercambiador regenerativo, el fluido con mayor temperatura es enfriado por un fluido de un sistema separado y la energía (calor) removida y no es regresada al sistema. (Jaramillo, 2007)

2.7.2.- Funcionamiento de los intercambiadores de calor.

La función general de un intercambiador de calor es transferir calor de un fluido a otro. Los componentes básicos de los intercambiadores se puede ver como un tubo por donde un flujo de fluido está pasando mientras que otro fluido recorre alrededor de dicho tubo. Existen por lo tanto tres intercambios de calor descritos a continuación:

1. Transferencia de calor convectiva del fluido hacia la pared interna del tubo.
2. Transferencia de calor conductiva a través de la pared del tubo.
3. Transferencia de calor convectiva desde la pared externa del tubo hacia el fluido exterior.

Para el análisis y diseño de un intercambiador de calor, tomamos en cuenta primero el problema de transferencia de calor del fluido interno en el tubo hacia el fluido externo en la carcasa.

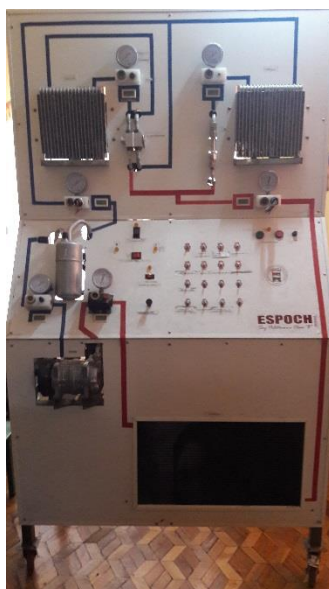
CAPÍTULO III

3.- ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DEL BANCO DE PRUEBAS DE AIRE ACONDICIONADO.

3.1.- Análisis Del Estado Del Banco De Pruebas De Aire Acondicionado.

El banco de pruebas denominad “Construcción de un sistema didáctico de aire acondicionado vehicular, para el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Automotriz” se utilizó para el desarrollo y repotenciación del sistema de aire acondicionado automotriz mediante la implementación del intercambiador IHX y digitalizando los parámetro del banco de pruebas, se planteó la necesidad de generar cambios que incrementen el coeficiente de desempeño y la didáctica del banco de pruebas, como trabajo de investigación y titulación, el cual es objeto de desarrollo y estudio.

Figura 14.Banco de Pruebas de Aire Acondicionado



Fuente: Autores

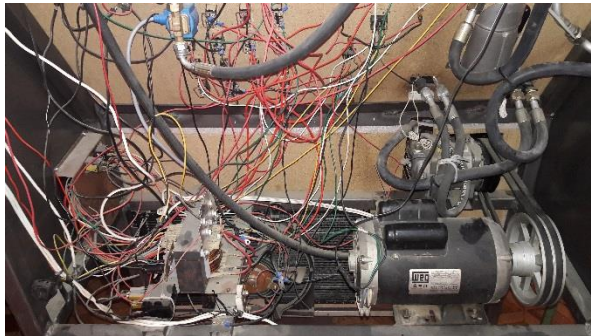
Se gestionó los trámites correspondientes para la adquisición del banco de pruebas, seguidamente se realizó una inspección visual del mismo, llegando a determinar que ciertos elementos se encuentran deteriorados y que algunos no se encontraban instalados correctamente en los lugares de funcionamiento para su normal desempeño al momento de efectuar prácticas de laboratorio.

3.1.1.- Estado de conexiones eléctricas.

Al realizar el análisis visual se identificó las siguientes condiciones:

- Ausencia de fusibles
- Cables desconectados
- Empalmes sin sus respectivos aislantes
- Elementos averiados

Figura 15.Conexiones eléctricas en mal estado.



Fuente: Autores

3.1.2.- Estado del sistema de Aire Acondicionado.

Al realizar el análisis del sistema de Aire Acondicionado se identificó las siguientes condiciones:

- Ausencia de Refrigerante
- Acoples de mangueras en mal estado

Figura 16.Acoples en mal estado.



Fuente: Autores

3.2.- Selección de elementos para la repotenciación del banco de pruebas.


Durante el proceso de repotenciación y digitalización de los parámetros del banco de pruebas, se ha tenido en cuenta que se debe incorporar ciertos elementos mecánicos y electrónicos de modo que se llegue al objetivo planteado.

3.2.1.- *Transmisor de Presión.*

Será el encargado de determinar e informar a la tarjeta de adquisición de datos la presión del fluido en el circuito de alta, para de esta manera controlar el correcto funcionamiento del sistema.

El transmisor de presión seleccionado es de tipo hr-ptm300 su aplicación más popular es en la medición de presión de aire y líquido en un rango de 0 a 30 bar, posee una alta sensibilidad ya que emplea un chip de presión de silicio en el sensor. La característica más importante es la estabilidad a largo plazo.

Figura 17. Transmisor de presión HR-PTM300

Rango de presión: 30 BAR	
Salida: 4 a 20 mA	
Temperatura compensada: -20 a 80°c	
Temperatura de funcionamiento : -20 a 85°c	
Estabilidad a largo plazo: $\leq 0.2\%$	

Fuente: Autores

3.2.2.- *Sensor de Presión.*

Será el encargado de determinar e informar a la tarjeta de adquisición de datos la presión del fluido en el circuito de baja.

Este sensor tiene un rango de medición de 0 a 20 Bar el cual será instalado en el banco de pruebas, este sensor se escogió por su alta estabilidad y sensibilidad.

Figura 18.Sensor de Presión.

Voltaje de Alimentación: 5v

Rango de presión de trabajo:

0 a 2.5 MPa (0-362 PSI)

Precisión : $\pm 10\%$

Longitud del cable: 18cm

Tamaño del sensor:

5x2.4cm/1.97"x0.94"LxDia)



Fuente: Autores

3.2.3.- *Tarjeta de adquisición de datos.*

Sirven para obtener una muestra de una variable física (voltaje, temperatura, presión), es decir, toman una señal de un sensor y después la transformar en un dato que puede ser reconocido y registrado por un sistema digital, con el fin de que la pueda leer una computadora y realizar una tarea en específica mediante un software.

Figura 19.Tarjeta de adquisición de datos Arduino 2560.



Fuente: Autores

3.2.4.- *Sensor de temperatura.*

Será el encargado de determinar e informar a la tarjeta de adquisición de datos la temperatura del fluido en el circuito. Debe conectarse utilizando una resistencia 10k.

Figura 20.Datos de sensor NTC 10K.

Voltaje de Alimentación:	
3v a 5.5v	
Rango de medición:	
-30°C a 120°C	
Exactitud: ± 1 (-10°C/85°C)	
Longitud del cable: ≈ 60 cm	
Tamaño del sensor: 25mm/5mm (largo/ancho)	

Fuente: Autores

3.3.- Ubicación de elementos para la repotenciación del banco de pruebas.

El banco de pruebas ha sido construido para el estudio del sistema de aire acondicionado de los vehículos. Este equipo ha sido diseñado con un doble circuito de aire acondicionado con sus instalaciones eléctricas, mandos, actuadores y sensores similares a los que se utilizan en un auto con un volumen grande y con instalaciones delanteras y traseras de aire acondicionado.

Este equipo tiene las siguientes ventajas:

- Instalación de aire acondicionado con opción para trabajar con sistema de tubo de expansión calibrado o válvula de expiación.
- 6 Manómetros de control de presión en puntos específicos del circuito de alta y baja presión.
- 6 Termómetros digitales para la medición de temperatura en el circuito.

Así mismo y teniendo en cuenta el carácter didáctico del equipo, se han añadido una serie de sensores que faciliten la labor de obtención de datos, teniendo así:

- 6 sensores de presión, repartidos en 3 en el circuito de alta y 3 en el circuito de baja presión.
- 6 sensores de temperatura repartidos en cada punto de obtención de datos.
- 1 tarjeta de adquisición de datos, la cual ayudara para convertir los datos análogos en digitales que serán visualizados en una pantalla.
- Posibilidad de generar 16 averías de forma manual.

El equipo cuenta con dos circuitos:

- Circuito A, el cual utiliza tubo calibrador de expansión.
- Circuito B, el cual utiliza válvula de expansión autorregulable.

El circuito de aire acondicionado que lleva el banco está constituido por un lado de alta presión y uno de baja presión, los componentes del sistema de A/C distribuidos por circuitos son:

- Circuito de alta presión (compresor, condensador con su ventilador, presóstato de alta, manómetros de presión, termómetros digitales, sensores de alta presión, sensores de temperatura).
- Circuito de baja presión (válvula de expansión autorregulable, evaporador con su ventilador, termostato de válvula de expansión, manómetro de presión, termómetro digital, sensores de baja presión, sensores de temperatura).

La disposición de los componentes en el equipo se ha realizado en cinco zonas claramente definidas:

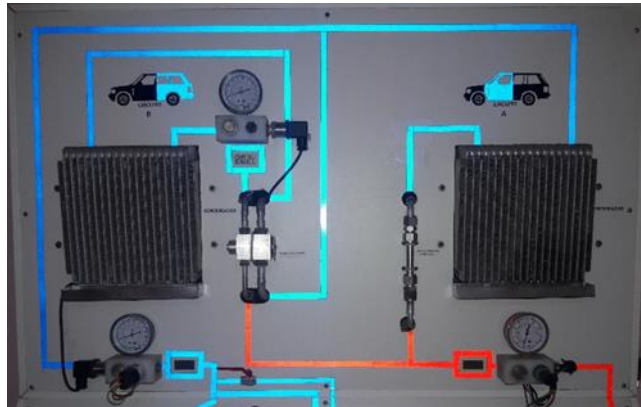
- Panel Superior: dispone de los componentes de los circuitos de baja presión (evaporadores, tubo calibrado de expansión, válvula de expansión autorregulable), presostatos de alta presión.
- Panel central: en esta zona se encuentran todos los mandos necesarios para la activación del Sistema, así como los pilotos añadidos al equipo para generación de averías, a más del filtro deshidratador para los dos circuitos de baja.
- Panel inferior: en esta zona se encuentran los componentes de alta presión (compresor, condensador).
- Zona lateral derecha: se encuentra el interruptor general, diagrama del sistema de aire acondicionado.
- Zona interior: en esta zona se encuentra el motor eléctrico, las bandas de transferencia de movimiento, intercambiador, tarjeta de adquisición de datos, válvulas de paso.

Los componentes que se encuentran en el panel superior:

- Presóstato de baja presión.
- Presóstato de alta presión.
- Tubo calibrado de expansión (circuito A)
- Evaporador del circuito A.
- Válvula de expansión autorregulable (circuito B)
- Evaporador del circuito B

- Sensores de presión y temperatura, manómetros, termómetros a la salida y entrada de cada componente.

Figura 21.Componentes del panel superior.

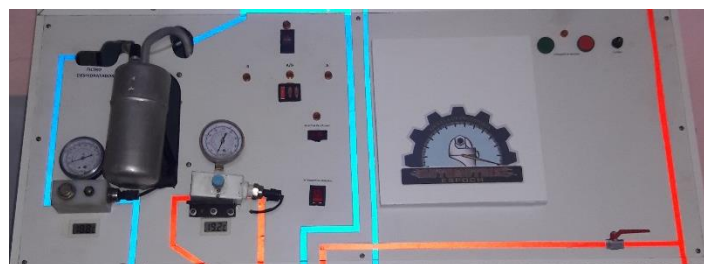


Fuente: Autores

Los componentes del panel central son:

- Mando de emergencia.
- Piloto de señalización de batería.
- Panel de averías.
- Mandos de control de circuito A y B.
- Pulsador de activación del A/C.
- Piloto de señalización de circuito activo, A o B.
- Filtro deshidratador.
- Válvula de carga por baja.
- Válvula de carga por alta.
- Sensores de presión y temperatura, manómetros, termómetros a la entrada y salida de cada componente.

Figura 22.Componentes del panel central.



Fuente: Autores

Los componentes del panel inferior son:

- Compresor.
- Condensador con ventilador.
- Sensor de presión y temperatura, manómetro, termómetro.

Figura 23.Componentes del panel inferior.



Fuente: Autores

En la zona lateral derecha se encuentran los siguientes componentes:

- Interruptor general.
- Cable de conexión USB.

Los componentes que se encuentran en la zona interior son:

- Motor eléctrico.
- Bandas de transferencia de movimiento.
- Intercambiador.
- Tarjeta de adquisición de datos.
- Válvulas de paso.
- Acoples rápidos.

3.4.- Puesta en marcha del equipo.

El único requerimiento necesario para la puesta en marcha del equipo es disponer de una toma de red eléctrica Monofásica 110 V / 60 Hz, a la cual se conectara el Banco de pruebas una vez posicionado correctamente en el lugar de trabajo.

Una vez conectado el banco de pruebas a la red, procedemos a accionar el interruptor general que se encuentra situado en la zona derecha del equipo, posteriormente accionamos el pulsador de conexión de batería (color verde), situado en la parte superior derecha del panel central,

debiéndose encender el indicador de conexión de batería quedando así listo el equipo para trabajar.

Una vez cumplido estos pasos podemos accionar el motor eléctrico pulsando el interruptor principal, para luego seleccionar el circuito en el cual deseamos trabajar, y accionamos el interruptor de A/C.

3.5.- Visualización de datos mediante un pc.

Para poder visualizar los datos en una Pc, debemos tener instalado la aplicación de Arduino y LabVIEW, a más de ello tener la carpeta del programa del banco de pruebas, luego de obtener todo lo anteriormente mencionado se procederá de la siguiente forma.

Conectar el cable USB del banco de pruebas (zona lateral derecha), con el Pc.

Abrir la carpeta (PROGRAMAS), buscar el archivo llamado (TESIS_REFRIGERACION), y dar doble clic, se abrirá una ventana llamada (Project Explorer – TESIS_REFRIGERACION.lvproj), en la cual buscamos el archivo (GRAFICAS.vi), damos clic en la pestaña GRAFICAS, seleccionamos el archivo donde se guardaran los datos, que es una hoja de cálculos de Microsoft Excel llamada (DATOS) y damos clic en OK.

En la pestaña de control de tiempo seleccionamos en que intervalo de tiempo deseamos que el programa arroje los resultados, seguidamente buscamos en la pestaña (VISA resourcename) el puerto de conexión, finalmente para correr el programa damos clic en el icono RUN.

3.6.- Funcionamiento del sistema.

El principio de funcionamiento del sistema de aire acondicionado automotriz, se basa principalmente en utilizar la expansión controlada del refrigerante (R134a), que se hallaba en estado líquido en un circuito y que se evapora o gasifica a una temperatura muy baja (- 27°C aproximadamente), y hacerlo circular por un intercambiador de calor (evaporador) de gran volumen, para producir la transferencia del frío al aire.

El refrigerante una vez convertido en gas se lo puede aprovechar, elevando necesariamente la presión y esto se logra mediante el compresor. El inconveniente es que si se eleva la presión también se eleva la temperatura, aumentando también la gasificación del refrigerante, para conseguir que el refrigerante comprimido y a alta presión pase de estado gaseoso a líquido es necesario enfriarlo mediante la utilización de otro intercambiador (condensador). Consiguiendo de esta manera cerrar el circuito por donde el refrigerante puede circular para obtener una gasificación del mismo y una producción de frío.

El circuito está compuesto por una instalación común de alta presión y dos de baja presión, que son denominadas como circuito A (delantero) y circuito B (trasero).

Figura 24. Circuitos del equipo.



Fuente: Autores

En el circuito A, el compresor absorbe el gas refrigerante a baja presión (2 bar aproximadamente) y a una temperatura entre (5°C y 10°C), lo comprime elevando la presión a (10 a 20 bar) y a una temperatura de (50°C a 85°C), enviándolo al condensador. A la salida del compresor mediante un manómetro, sensor de presión y un termómetro se puede ver la presión y temperatura en ese punto del circuito. El refrigerante al atravesar por el condensador es enfriado con ayuda del ventilador de aire y pasa de un estado gaseoso a estado líquido. Así mismo, a la salida del condensador se encuentra otro punto de medición de presión y temperatura.

En este punto del circuito, tenemos un bypass el cual mediante la manipulación de una válvula de paso nos permite seguir con el recorrido normal hacia el presóstato o desviarnos hacia la parte de alta presión del intercambiador de calor (IHX), para luego acoplarse nuevamente a la vía tradicional del sistema y llegar al presóstato de alta, en este punto encontraremos un manómetro, sensores de presión y temperatura.

El presóstato de seguridad de alta presión puede interrumpir el funcionamiento del sistema cuando la presión sea menor a 2 Bar o mayor a 27 Bar. El refrigerante se encuentra en estado líquido y a una temperatura entre 26°C Y 40°C llegando así con esta temperatura a la válvula de expansión de paso fijo calibrado.

A la salida de la válvula y debido a la expansión el refrigerante empieza a gasificarse, en este punto podemos ver la presión y temperatura gracias al manómetro y sensores de presión y temperatura. La gasificación continúa al atravesar el refrigerante por el evaporador, gracias al calor aportado por el aire que atraviesa exteriormente el evaporador.

El cambio de líquido a gas del refrigerante provocado por la expansión hace que se produzca una gran baja de temperatura y un enfriamiento del aire que pasa por el condensador. Así mismo debido a la condensación que se produce en el exterior del condensador el aire pierde humedad, este es otro de los puntos donde se puede observar la presión y temperatura. En este punto tenemos un bypass el cual mediante la manipulación de una válvula de paso podemos seguir el recorrido hacia el filtro deshidratante o desviarnos hacia la parte de baja presión del intercambiador de calor IHX, para luego acoplarnos nuevamente a la vía normal del sistema.

El filtro deshidratante es el encargado de aportar aceite al gas refrigerante y eliminar las partículas sólidas que pueden llegar hasta el filtro, además el recipiente del filtro sirve como vaso de expansión y amortiguador de presión. El refrigerante llega ahora hasta el compresor que hace iniciar nuevamente el ciclo.

El circuito B se diferencia del circuito A en que en lugar de utilizar un paso calibrado de diámetro fijo para la expansión del refrigerante, utiliza una válvula de expansión autorregulable. Una válvula termostática controla el funcionamiento del compresor para este circuito en función de la temperatura del evaporador. Las presiones y temperaturas son similares a las citadas en el otro circuito.

CAPÍTULO IV

4.- RESULTADOS.

El banco de aire acondicionado está equipado con dos tipos de instrumentos de medición para la obtención de toma de datos, manómetros de presión analógicos y termómetros digitales los cuales se encontraban trabajando en el banco de pruebas. En la actualidad el equipo cuenta con sensores de presión digitales y sensores de temperatura que nos arrojan valores que son registrados en una tarjeta de adquisición de datos.

Los cálculos correspondientes de en base a las características termodinámicas de operación han sido desarrollados con la ayuda del software EES (Engineering Equation Solver) para una mayor exactitud en los resultados.

4.1.- Obtención de datos analógicos.

Los datos analógicos fueron obtenidos a partir del minuto 5 de operación, debido a que las presiones y temperaturas en el equipo deben estabilizarse. La dificultad de la visualización de los manómetros no permite hacer toma de datos de menor a un rango de cada 5 minutos.

4.1.1.- Cálculos de datos analógicos sin intercambiador de calor (IHX).

Tabla 1. Obtención de datos analógicos sin intercambiador de calor.

PUNTOS DE MEDICION	PRESION(PSI)	TEMPERATURA (°C)
Punto 1	18	11
Punto 1´	16	9
Punto 2	126	57
Punto 3	124	55
Punto 3´	116	33
Punto 4	25	3

Fuente: Autores.

Transformamos unidades de Psi a Kpa

Punto 1´ = 16 Psi = 183,4661 Kpa

Punto 2 = 126 Psi = 941,8893 Kpa

Punto 3´ = 116 Psi = 872,9418 Kpa

Punto 4 = 25 Psi = 245,51 Kpa

"Estado 1P Evaporador - compresor"

P[1]=183,4661

T[1]=9

x[1]=1

h[1]=Enthalpy(R134a;P=P[1];x=x[1])

s[1]=Entropy(R134a;T=T[1];x=x[1])

"PRESION EN 1"

"TEMPERATURA EN 1"

"CALIDAD DE LA MEZCLA EN 1"

"ENTALPIA EN 1"

"ENTROPIA EN 1"

"Estado 2, Compresor - Condensador"

P[2]= 941,8893

T[2]= 57

x[1]= x[2]

h[2]=Enthalpy(R134a;P=P[2];x=x[2])

s[2]=Entropy(R134a;T=T[2];x=x[2])

"PRESION EN 2 "

"TEMPERATURA EN 2 "

"CALIDAD DE LA MEZCLA EN 2"

"ENTALPIA EN 2 "

"ENTROPIA EN 2 "

"Estado 3, Condensador - Valvula de Expansion"

P[3]= 872,9418

T[3]= 33

x[3]=0

h[3]=Enthalpy(R134a;P=P[3];x=x[3])

s[3]=Entropy(R134a;T=T[3];x=x[3])

"PRESION EN 3' "

"TEMPERATURA EN 3' "

"CALIDAD DE LA MEZCLA EN 3' "

"ENTALPIA EN 3' "

"ENTROPIA EN 3' "

"Estado 4, Válvula de Expansión - Compresor"

P[4]= 245,51

T[4]= 3

x[3]= x[4]

h[4]=Enthalpy(R134a;P=P[4];x=x[4])

s[4]=Entropy(R134a;T=T[4];x=x[4])

"PRESION EN 4"

"TEMPERATURA EN 4"

"CALIDAD DE LA MEZCLA EN 4"

"ENTALPIA EN 4"

"ENTROPIA EN 4"

m[1]=0,12

QL[1]= m[1]*(h[1]-h[4])

W[1]=m[1]*(h[2]-h[1])

COP[1]=QL[1]/W[1]

Sort	1	2	3	4	5	6	7	8	
	COP _i	h _i	m _i	P _i	QL _i	s _i	T _i	W _i	
[1]	7,359	243,1	0,12	183,5	23,72	0,9269	9	3,224	
[2]		270		941,9		0,9083	57		
[3]		100		872,9		0,362	33		
[4]		45,46		245,5		0,219	3		

4.1.2.- Cálculos de datos analógicos con intercambiador de calor (IHX).

Tabla 2. Obtención de datos analógicos con intercambiador de calor.

<i>PUNTOS DE MEDICION</i>	<i>PRESION(PSI)</i>	<i>TEMPERATURA (°C)</i>
<i>Punto 1</i>	24	1
<i>Punto 1´</i>	20	5
<i>Punto 2</i>	139	56
<i>Punto 3</i>	130	32
<i>Punto 3´</i>	131	33
<i>Punto 4</i>	27	3

Fuente: Autores.

Transformamos unidades de Psi a Kpa

Punto 1´ = 20 Psi = 211,0411 Kpa

Punto 2 = 139 Psi = 1031,5172 Kpa

Punto 3´ = 131 Psi = 976,3591 Kpa

Punto 4 = 27 Psi = 259,3044 Kpa

$P[1]=211,04114$ "PRESION EN 1"
 $T[1]=5$ "TEMPERATURA EN 1"
 $x[1]=1$ "CALIDAD DE LA MEZCLA EN 1"
 $h[1]=\text{Enthalpy}(\text{R134a}; P=P[1]; x=x[1])$ "ENTALPIA EN 1"
 $s[1]=\text{Entropy}(\text{R134a}; T=T[1]; x=x[1])$ "ENTROPIA EN 1"

"Estado 2, Compresor - Condensador"

$P[2]=1031,51722$ "PRESION EN 2"
 $T[2]=56$ "TEMPERATURA EN 2"
 $x[1]=x[2]$ "CALIDAD DE LA MEZCLA EN 2"
 $h[2]=\text{Enthalpy}(\text{R134a}; P=P[2]; x=x[2])$ "ENTALPIA EN 2"
 $s[2]=\text{Entropy}(\text{R134a}; T=T[2]; x=x[2])$ "ENTROPIA EN 2"

"Estado 3, Condensador - Valvula de Expansion"

$P[3]=976,35916$ "PRESION EN 3"
 $T[3]=33$ "TEMPERATURA EN 3"
 $x[3]=0$ "CALIDAD DE LA MEZCLA EN 3"
 $h[3]=\text{Enthalpy}(\text{R134a}; P=P[3]; x=x[3])$ "ENTALPIA EN 3"
 $s[3]=\text{Entropy}(\text{R134a}; T=T[3]; x=x[3])$ "ENTROPIA EN 3"

"Estado 4, Válvula de Expansión - Compresor"

$P[4]=259,30443$ "PRESION EN 4"
 $T[4]=3$ "TEMPERATURA EN 4"
 $x[3]=x[4]$ "CALIDAD DE LA MEZCLA EN 4"
 $h[4]=\text{Enthalpy}(\text{R134a}; P=P[4]; x=x[4])$ "ENTALPIA EN 4"
 $s[4]=\text{Entropy}(\text{R134a}; T=T[4]; x=x[4])$ "ENTROPIA EN 4"

$m[1]=0,12$
 $QL[1]=m[1]*(h[1]-h[4])$
 $W[1]=m[1]*(h[2]-h[1])$
 $COP[1]=QL[1]/W[1]$

Sort	1	2	3	4	5	6	7	8
	COP _i	h _i	m _i	P _i	QL _i	s _i	T _i	W _i
[1]	7,549	245,3	0,12	211	23,75	0,9288	5	3,145
[2]		271,5		1032		0,9088	56	
[3]		106		976,4		0,362	33	
[4]		47,4		259,3		0,219	3	

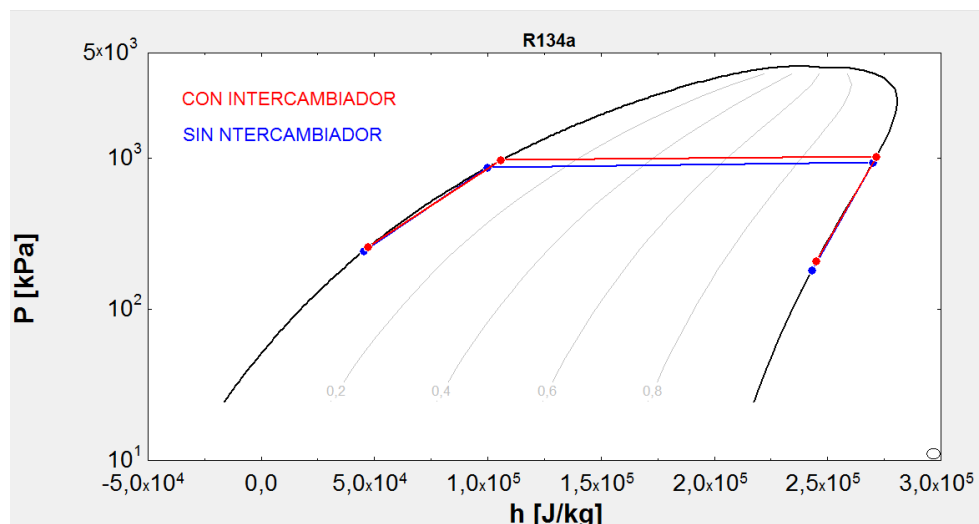
4.1.3.- Comparación de COP de datos analógicos.

Tabla 3. Comparación de COP de datos analógicos.

PUNTOS DE MEDICION	SIN INTERCAMBIADOR (IHx)		CON INTERCAMBAIDOR (IHx)	
	Entropía (s)	Entalpia (h)	Entropía (s)	Entalpia (h)
Punto 1'	0,9269	243,1	0,9288	245,3
Punto 2	0,9083	270	0,9088	271,5
Punto 3'	0,362	100	0,362	106
Punto 4	0,219	45,46	0,219	47,4
COP	7.359		7.549	

Fuente: Autores

Gráfica. 1. Comparación de COP de datos analógicos.



Fuente: Autores

4.2.- Obtención y resultado de datos digitales.

Los datos digitales fueron obtenidos a partir del minuto 5 de operación, debido a que las presiones y temperaturas en el equipo deben estabilizarse. Los datos son obtenidos y registrados en un intervalo de 20 segundos, ya que en este intervalo de tiempo se producen variaciones de temperatura y presión significativas para efectos de cálculos.

Debido a que cuenta con una tarjeta de adquisición de datos y nos permite modificar el rango de tiempo para la obtención de datos, los valores obtenidos por cada sensor son registrados en una hoja de Excel y los resultados de entalpía, entropía, COP son calculados instantáneamente.

4.2.1.- Obtención y resultado de datos digitales sin intercambiador de calor (IHX).

Tabla 4. Obtención de datos digitales.

TP1	TP1P	TP2	TP3	TP3P	TP4	PP1	PP1P	PP2	PP3	PP3P	PP4	CAUD	ENP1P	ENP2	ENP3	ENP4	ETP1P	ETP2	ETP3	ETP4	COP
11,00	16,00	43,00	28,00	32,00	8,00	23,00	19,00	133,00	124,00	121,00	25,00	0,539175	339,70	366,03	199,24	142,44	0,92	0,91	0,34	0,24	-2,38
11,00	15,00	45,00	29,00	33,00	7,00	23,00	19,00	135,00	124,00	121,00	24,00	0,548172	393,70	420,71	253,26	194,46	0,92	0,91	0,34	0,24	7,42
10,00	14,00	46,00	29,00	33,00	6,00	23,00	16,00	131,00	128,00	118,00	31,00	0,539176	394,24	420,83	254,44	194,55	0,92	0,91	0,34	0,23	7,32
10,00	12,00	48,00	30,00	33,00	5,00	22,00	15,00	128,00	125,00	111,00	25,00	0,547125	393,89	420,71	253,65	198,33	0,93	0,91	0,35	0,23	8,06
9,00	12,00	49,00	30,00	33,00	5,00	22,00	18,00	133,00	124,00	119,00	28,00	0,539174	394,24	420,61	254,44	198,36	0,93	0,91	0,35	0,23	7,31
9,00	11,00	50,00	30,00	34,00	5,00	22,00	16,00	130,00	124,00	119,00	26,00	0,539179	393,70	420,49	253,24	198,36	0,93	0,91	0,35	0,23	7,53
9,00	10,00	51,00	30,00	34,00	4,00	22,00	18,00	129,00	123,00	118,00	26,00	0,556135	393,23	420,49	252,84	197,43	0,93	0,91	0,35	0,22	7,69
9,00	10,00	52,00	30,00	34,00	4,00	21,00	17,00	130,00	123,00	119,00	25,00	0,539171	178,49	420,49	252,84	196,44	0,93	0,91	0,35	0,22	6,96
8,00	9,00	53,00	30,00	34,00	4,00	20,00	12,00	115,00	122,00	106,00	26,00	0,549175	393,14	420,37	252,44	196,44	0,93	0,91	0,35	0,22	7,16
8,00	9,00	54,00	30,00	34,00	3,00	20,00	15,00	130,00	122,00	117,00	26,00	0,539173	392,06	419,16	252,04	196,44	0,93	0,91	0,35	0,22	-0,26
8,00	9,00	55,00	30,00	33,00	3,00	22,00	17,00	128,00	124,00	117,00	29,00	0,557125	178,49	420,00	253,25	199,40	0,93	0,91	0,35	0,22	7,18
8,00	9,00	55,00	30,00	33,00	3,00	19,00	19,00	126,00	121,00	121,00	25,00	0,539276	178,49	419,66	251,64	194,55	0,93	0,91	0,35	0,22	7,06
8,00	9,00	56,00	30,00	33,00	3,00	19,00	19,00	127,00	120,00	121,00	26,00	0,539376	392,72	420,13	251,64	194,46	0,93	0,91	0,35	0,22	8,01
8,00	9,00	56,00	30,00	33,00	3,00	22,00	20,00	126,00	123,00	121,00	29,00	0,544124	-8,89	420,17	251,64	199,27	0,93	0,91	0,35	0,22	7,27
8,00	9,00	57,00	30,00	33,00	3,00	20,00	16,00	126,00	121,00	116,00	25,00	0,538778	390,42	417,95	253,24	199,27	0,93	0,91	0,35	0,22	7,44
8,00	9,00	57,00	30,00	33,00	3,00	19,00	19,00	129,00	119,00	119,00	24,00	0,541175	393,15	420,01	251,24	195,45	0,93	0,91	0,35	0,22	7,71
8,00	9,00	58,00	30,00	33,00	3,00	19,00	17,00	128,00	119,00	115,00	26,00	0,553121	391,45	420,01	251,24	195,45	0,93	0,91	0,35	0,22	-20,06
8,00	9,00	58,00	30,00	33,00	3,00	24,00	18,00	123,00	124,00	117,00	28,00	0,536134	814,46	419,78	253,25	199,27	0,93	0,91	0,35	0,22	7,34
8,00	9,00	59,00	30,00	33,00	3,00	19,00	20,00	130,00	121,00	122,00	29,00	0,549664	392,06	418,56	252,04	198,33	0,93	0,91	0,35	0,22	7,50
7,00	9,00	59,00	30,00	33,00	3,00	22,00	17,00	126,00	125,00	117,00	28,00	0,553163	393,70	420,13	253,65	199,40	0,93	0,91	0,35	0,22	-3,54
7,00	9,00	60,00	30,00	33,00	3,00	20,00	20,00	130,00	121,00	118,00	25,00	0,533122	116,03	420,17	252,04	196,44	0,93	0,91	0,35	0,22	7,22
7,00	9,00	60,00	30,00	34,00	3,00	21,00	17,00	124,00	122,00	117,00	26,00	0,553475	392,60	418,56	252,44	197,38	0,93	0,91	0,35	0,22	7,53
7,00	9,00	60,00	30,00	34,00	3,00	19,00	14,00	121,00	122,00	107,00	26,00	0,548757	394,24	419,89	252,44	196,44	0,93	0,91	0,35	0,22	7,53
8,00	9,00	61,00	30,00	34,00	3,00	22,00	20,00	124,00	124,00	122,00	28,00	0,548655	392,72	418,92	252,04	194,55	0,93	0,91	0,35	0,22	7,74
8,00	9,00	61,00	31,00	34,00	3,00	22,00	18,00	127,00	122,00	118,00	26,00	0,559673	392,01	418,92	252,44	196,44	0,93	0,91	0,35	0,22	7,32
8,00	9,00	61,00	31,00	34,00	3,00	24,00	18,00	127,00	127,00	119,00	27,00	0,542176	392,06	418,32	252,44	196,44	0,93	0,91	0,35	0,22	7,48
																					7,44

Fuente: Autores

4.2.2.- Obtención y resultado de datos digitales con intercambiador de calor (IHX).

Tabla 5. Obtención de datos digitales.

TP1	TP1P	TP2	TP3	TP3P	TP4	PP1	PP1P	PP2	PP3	PP3P	PP4	CAUD	ENP1P	ENP2	ENP3	ENP4	ETP1P	ETP2	ETP3	ETP4	COP
7,00	15,00	42,00	29,00	34,00	7,00	23,00	18,00	141,00	132,00	127,00	26,00	0,539175	346,29	372,22	206,38	149,40	0,92	0,91	0,34	0,24	7,22
7,00	13,00	44,00	30,00	34,00	7,00	23,00	19,00	142,00	132,00	127,00	24,00	0,548175	394,83	422,02	257,16	194,55	0,93	0,91	0,35	0,24	7,51
6,00	12,00	45,00	30,00	35,00	6,00	23,00	19,00	141,00	132,00	128,00	24,00	0,539175	396,81	422,12	256,38	196,58	0,93	0,91	0,35	0,23	7,48
6,00	11,00	45,00	31,00	35,00	6,00	23,00	20,00	142,00	133,00	129,00	24,00	0,547125	393,23	420,75	258,31	198,41	0,93	0,91	0,35	0,23	7,37
6,00	10,00	46,00	31,00	35,00	6,00	23,00	19,00	142,00	134,00	130,00	24,00	0,539175	394,76	421,82	257,16	193,44	0,93	0,91	0,35	0,23	-1,95
6,00	9,00	47,00	31,00	35,00	5,00	25,00	17,00	133,00	137,00	121,00	26,00	0,539175	396,72	422,22	257,16	196,58	0,93	0,91	0,35	0,23	7,75
5,00	8,00	48,00	32,00	35,00	5,00	24,00	19,00	139,00	137,00	134,00	26,00	0,556135	394,24	421,38	256,38	193,43	0,93	0,91	0,36	0,23	7,34
5,00	8,00	49,00	32,00	36,00	5,00	21,00	18,00	141,00	131,00	127,00	23,00	0,539175	394,79	421,81	257,54	193,48	0,93	0,91	0,36	0,23	-2,38
5,00	7,00	50,00	32,00	35,00	5,00	24,00	22,00	139,00	135,00	133,00	26,00	0,549175	393,70	422,07	256,00	192,37	0,93	0,91	0,36	0,23	7,49
5,00	7,00	51,00	32,00	35,00	4,00	24,00	18,00	137,00	134,00	127,00	26,00	0,539175	394,24	420,94	255,61	192,37	0,93	0,91	0,36	0,22	7,32
5,00	7,00	51,00	32,00	35,00	4,00	21,00	21,00	140,00	130,00	131,00	22,00	0,557125	396,43	421,70	255,61	192,37	0,93	0,91	0,36	0,22	7,47
5,00	7,00	52,00	32,00	34,00	4,00	21,00	16,00	128,00	129,00	126,00	23,00	0,539275	394,24	421,17	255,23	193,43	0,93	0,91	0,36	0,22	7,53
4,00	6,00	53,00	32,00	34,00	3,00	20,00	20,00	138,00	129,00	131,00	25,00	0,539375	392,72	420,33	255,23	192,37	0,93	0,91	0,36	0,22	7,61
3,00	6,00	54,00	32,00	34,00	3,00	21,00	18,00	134,00	129,00	127,00	23,00	0,544125	392,60	420,83	255,61	193,48	0,93	0,91	0,36	0,22	7,22
3,00	6,00	54,00	32,00	34,00	3,00	22,00	16,00	128,00	129,00	113,00	23,00	0,538775	394,24	420,94	255,23	192,37	0,93	0,91	0,36	0,22	-3,62
2,00	6,00	54,00	32,00	34,00	3,00	22,00	18,00	137,00	129,00	127,00	23,00	0,541175	393,71	420,98	255,23	193,48	0,93	0,91	0,36	0,22	7,32
2,00	6,00	55,00	32,00	34,00	3,00	21,00	17,00	135,00	130,00	127,00	23,00	0,553125	392,06	419,92	255,61	194,48	0,93	0,91	0,36	0,22	7,34
2,00	6,00	55,00	32,00	34,00	3,00	20,00	16,00	135,00	130,00	127,00	23,00	0,536135	-71,35	421,46	257,16	196,58	0,93	0,91	0,36	0,22	7,17
2,00	6,00	55,00	32,00	34,00	3,00	24,00	17,00	136,00	133,00	127,00	24,00	0,549665	394,24	420,98	255,61	193,43	0,93	0,91	0,36	0,22	7,51
2,00	5,00	56,00	32,00	34,00	3,00	20,00	21,00	138,00	129,00	131,00	23,00	0,553165	393,71	420,86	255,62	193,44	0,93	0,91	0,36	0,22	6,98
2,00	5,00	56,00	32,00	34,00	3,00	22,00	21,00	139,00	130,00	131,00	26,00	0,533125	395,78	421,38	255,23	193,43	0,93	0,91	0,36	0,22	7,90
2,00	5,00	56,00	32,00	33,00	3,00	25,00	18,00	134,00	134,00	128,00	27,00	0,553475	393,70	420,71	255,23	194,46	0,93	0,91	0,36	0,22	7,48
2,00	5,00	56,00	32,00	33,00	3,00	21,00	17,00	134,00	130,00	128,00	24,00	0,548757	392,60	419,70	255,61	193,43	0,93	0,91	0,36	0,22	7,50
1,00	5,00	56,00	32,00	33,00	3,00	24,00	20,00	139,00	130,00	131,00	27,00	0,548655	392,72	419,81	255,61	194,48	0,93	0,91	0,36	0,22	7,76
1,00	4,00	56,00	32,00	33,00	3,00	23,00	17,00	136,00	130,00	128,00	23,00	0,559673	393,89	420,86	255,61	194,46	0,93	0,91	0,36	0,22	7,78
1,00	4,00	56,00	32,00	33,00	3,00	24,00	18,00	133,00	130,00	128,00	24,00	0,542176	116,03	421,59	255,62	194,48	0,93	0,91	0,36	0,22	7,14
																					7,77

Fuente: Autores.

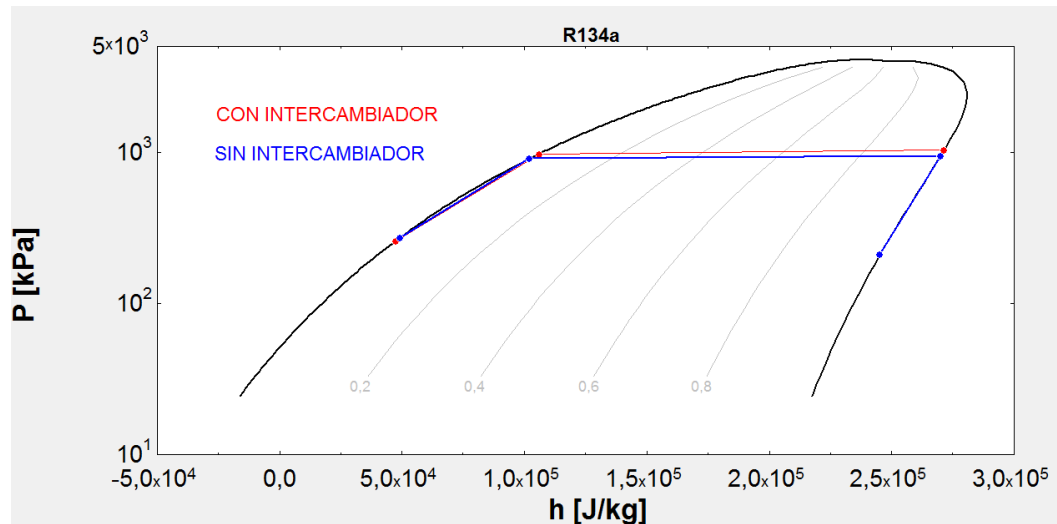
4.2.3.- Comparación de COP de datos digitales.

Tabla 6. Comparación de COP de datos digitales.

<i>PUNTOS DE MEDICION</i>	<i>SIN INTERCAMBIADOR (IHx)</i>		<i>CON INTERCAMBAIDOR (IHx)</i>	
	Entropía (s)	Entalpia (h)	Entropía (s) (h)	Entalpia
<i>Punto 1'</i>	0,93	392,72	0,93	395,78
<i>Punto 2</i>	0,91	418,92	0,91	421,38
<i>Punto 3'</i>	0,35	252,04	0,36	255,23
<i>Punto 4</i>	0,22	194,55	0,22	193,43
<i>COP</i>	7,44		7,77	

Fuente: Autores

Gráfica 2. Comparación de COP de datos digitales.



Fuente: Autores

4.3.- Comparación y análisis de COP.

Tabla 7. Comparación y análisis de COP.

<i>COP</i>	<i>ANALÓGICO</i>		<i>DIGITAL</i>	
	CON (IHX)	SIN (IHX)	CON (IHX)	SIN (IHX)
	7.549	7.359	7.77	7.44

Fuente: Autores

Uno de los propósitos directos de nuestra tesis fue mejorar la eficiencia del sistema de aire acondicionado, implementando un intercambiador de calor de contraflujo, según los valores obtenidos podemos confirmar que se genera un aumento de la eficiencia del sistema en un 2% a 3% según los resultados analógicos y en un 3% a 4% según los valores digitales.

CAPÍTULO V

5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.- Conclusiones.

Se ha cumplido con el objetivo de repotenciar el banco de pruebas de aire acondicionado automotriz, mejorando el rendimiento y eficiencia del sistema. Logrando tener un equipo tecnológicamente acorde a las exigencias de la escuela de ingeniería automotriz.

El diagnostico obtenido del estado del banco de pruebas fue que se encontraba en condiciones no aptas para realizar prácticas de laboratorio, ya que presentaba falta de componentes importantes para su funcionamiento, siendo así de vital importancia su repotenciación inmediata.

La implementación del intercambiador de calor IHX de contraflujo logro incrementar el COP del sistema entre 2% y 4% según los resultados obtenidos y con esto disminuir el consumo requerido por el sistema de refrigeración del banco de pruebas.

La incorporación de sensores de presión y temperatura junto a una tarjeta de adquisición de datos en el equipo nos permite digitalizar valores de los puntos importantes del sistema y generar sus respectivos esquemas del ciclo en una pantalla, de esta manera podemos visualizar el correcto funcionamiento del sistema en tiempo real.

Se logró elaborar el manual de funcionamiento del banco de pruebas de aire acondicionado automotriz que permitirá al usuario realizar su correcto mantenimiento y prácticas de laboratorio determinando todos los valores del sistema.

5.2.- Recomendaciones.

En caso de producirse una avería en el sistema se debe analizar adecuadamente según los esquemas eléctricos y cuadros de averías.

Leer el manual de funcionamiento para una correcta utilización de encendido, apagado y funcionamiento del banco de pruebas.

Conectar el banco a una red eléctrica de 110v de corriente alterna monofásica.

Al momento de cambiar de sistema con intercambiador a sin intercambiador y viceversa esperar un lapso de tiempo entre 15 a 20 minutos antes de realizar las pruebas de manera que las presiones y temperaturas se estabilicen y evitar lecturas erróneas de los sensores.

Para evitar el deterioro del equipo es recomendable encender el banco por lo menos una vez a la semana.

Vaciar los contenedores de líquido ubicados por debajo de los evaporadores luego de realizar cada practica para evitar que estos líquidos se derramen en los componentes del sistema.

Manipular con precaución las válvulas del sistema y del intercambiador para evitar un cambio brusco de presiones durante el funcionamiento del banco de pruebas.

Se recomienda tener muy en cuenta que por razones de aproximación y desfase de lectura de datos propios del software Arduino, puede existir una variación en el valor del COP de $\pm 0,08$ si se lo compara con el resultado q pueda dar el software EES.

Bibliografía

CASTILLO. *Ciclos de refrigeración.* [En línea] 2016. [Consulta: 6 de enero de 2017] Disponible en : https://www.google.com.ec/search?q=Diagrama+P-h+de+un+ciclo+ideal+de+refrigeraci%C3%B3n+por+compresi%C3%B3n+de+vapor.&safe=off&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwinkfa76PzTAhVH4iYKHWniD34Q_AUICigB&biw=1094&bih=511#imgrc=daKnGl1OzsJANM:.

ÇENGEL, Y. & BOLES, M. *Termodinamica.* 6a ed. Monterrey: Instituto tecnológico y de estudios superiores de Monterrey, 2014. pp. 619 - 628.

Chavez, Ordinola & Peña. *REFRIGERACION Y ACONDICIONAMIENTO DEL AIRE.* [En línea] 17 de mayo de 2016. [Consulta: 01 de abril de 2017.] Disponible: <http://documents.tips/documents/informe-de-refrigeracion-577fe832e2b6b.html>.

CHECA MARCO, CAIZA PABLO. *Contruccion de un sistema didactico de aire acondicionado, para el laboratorio de Ingenieria Automotriz.* (tesis) (pregrado) Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Facultad de Mecanica; Carrera de Ingenieria Automotriz. Riobamba 2012. pp 108 - 121.

Correa, Silvera. *Ciclos de refrigeración.* [En línea] 21 de julio de 2015. [Consulta: 29 de marzo de 2017.] Disponible: <http://rsilvera-utp-fim-refrigeracion.blogspot.com/2015/07/ciclo-ideal-de-refrigeracion-por.html>.

Jaramillo, A. *INTERCAMBIADORES DE CALOR.* [En línea] 20 de noviembre de 2007. [Consulta: 07 de marzo de 2017.] Disponible: <http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/HeatExchange/Intercambiadores.pdf>.

Martínez, A L. VILLASEÑOR & J. LOBATO. *Termotecnia básica para ingenieros químicos: Bases de Termodinámica Aplicada.* 1e éd. Cuenca : Universidad de Castilla La Mancha, 2004. pp. 23.

Gases Refrigerantes [En línea] 1 de noviembre de 2014. [Consulta: 06 de marzo de 2017.] Disponible: <http://maximatec.com/downloads/GasesRefrigerantes.pdf>.

Salgado, E. *Aire acondicionado para los automotores.* [En línea] 25 de abril de 2010. [Consulta: 04 de abril de 2017.] Disponible: <http://aireacondicionadoutomotriz.blogspot.com/2010/04/aire-acondicionado-automotriz.html>.